

# Perubahan Tegangan Pada Kawat Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV Akibat Sambaran Petir

Julius Sentosa Setiadji<sup>1\*</sup>, Yanuar Ariyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, UK Petra, Surabaya, \*Email: julius@petra.ac.id

## ABSTRAK

Sambaran petir dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sambaran petir langsung dan sambaran petir tak langsung. Tiang saluran distribusi yang rendah menyebabkan saluran 20 kV tidak pernah terkena sambaran petir langsung. Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV sambaran petir tak langsung dapat mengakibatkan timbulnya tegangan induksi pada kawat saluran distribusi. Tegangan induksi ini dapat menyebabkan terjadinya tegangan berlebih yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik dan berbahaya bagi manusia. Dari hasil simulasi dengan menggunakan program MATLAB didapatkan bahwa besarnya tegangan induksi pada saluran distribusi bergantung pada besarnya arus sambaran dan jarak terjadinya sambaran. Ketinggian saluran distribusi sangat berpengaruh terhadap besarnya tegangan yang dapat menginduksi saluran.

**Kata kunci:** Sambaran petir, saluran udara tegangan menengah, arus sambaran.

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu sarana yang sangat penting dan dibutuhkan manusia adalah tersedianya listrik. Untuk itu diperlukan adanya pelayanan yang bisa menjamin akan ketersediaan listrik secara kontinu dengan kualitas daya yang baik. Namun ada saja gangguan-gangguan yang mengakibatkan tegangan listrik menjadi tidak konstan, salah satunya adalah akibat gangguan petir.

Petir dapat menimbulkan gangguan pada saluran penghantar listrik. Sambaran petir tersebut dapat berupa sambaran petir langsung maupun sambaran petir tak langsung. Sambaran petir tak langsung menimbulkan gelombang elektromagnetik yang dapat menginduksi saluran dan pada akhirnya akan dapat menyebabkan tegangan lebih atau tegangan sistem menjadi tidak berbentuk sinusoidal murni.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Sambaran Induksi

Bila terjadi sambaran petir ke tanah di dekat saluran penghantar listrik, maka akan terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis dari kanal

petir. Fenomena petir ini terjadi pada kawat penghantar listrik. Akibat dari kejadian ini timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat penghantar listrik di tempat sambaran berlangsung.

Fenomena transien pada kawat penghantar listrik terjadi karena pengaruh komponen vektor kuat medan yang berarah sejajar dengan arah penghantar. Sehingga bila komponen vektor kuat medan berarah vertikal maka tidak akan menimbulkan transien pada penghantar.

### B. Persamaan Differensial Kawat Distribusi

Dalam kawat distribusi terdapat tahanan, induktansi, konduktansi dan kapasitansi sehingga untuk perhitungan digunakan persamaan diferensial untuk kawat distribusi dengan konstanta-konstanta sebagai berikut: [1]

R = Tahanan kawat per satuan panjang  
L = Induktansi kawat per satuan panjang  
G = Konduktansi kawat per satuan panjang  
C = Kapasitansi kawat per satuan panjang

Dari Gambar 1 didapatkan persamaan tegangan sebagai berikut:[1]

$$e(x + \Delta x, t) + \frac{R}{2} \Delta x [i(x + \Delta x, t) + i(x, t)] + \frac{L}{2} \Delta x \frac{\partial}{\partial t} [i(x + \Delta x, t) + i(x, t)] = e(x, t) \quad (1)$$

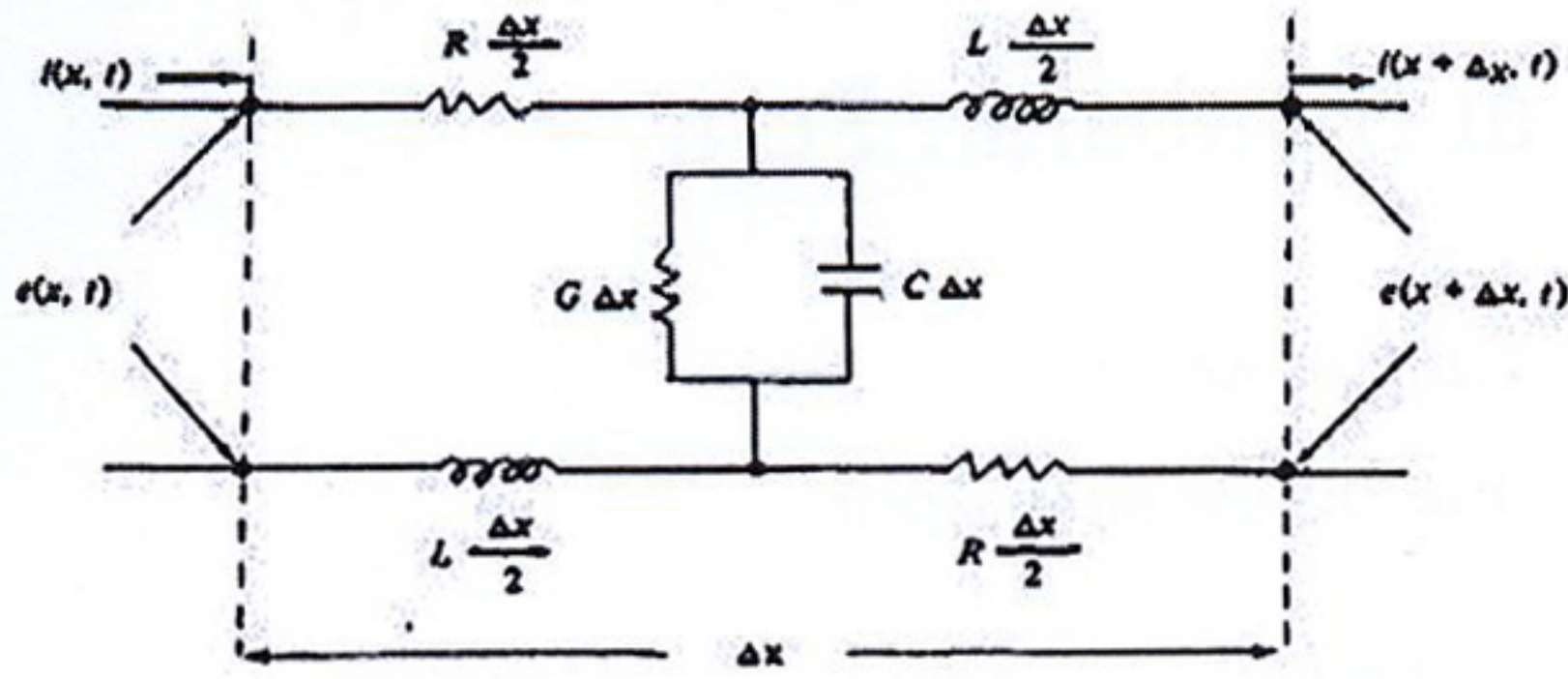
atau

$$\frac{1}{2} (R + L \frac{\partial}{\partial t}) [i(x + \Delta x, t) + i(x, t)] = - \frac{e(x + \Delta x, t) - e(x, t)}{\Delta x} \quad (2)$$

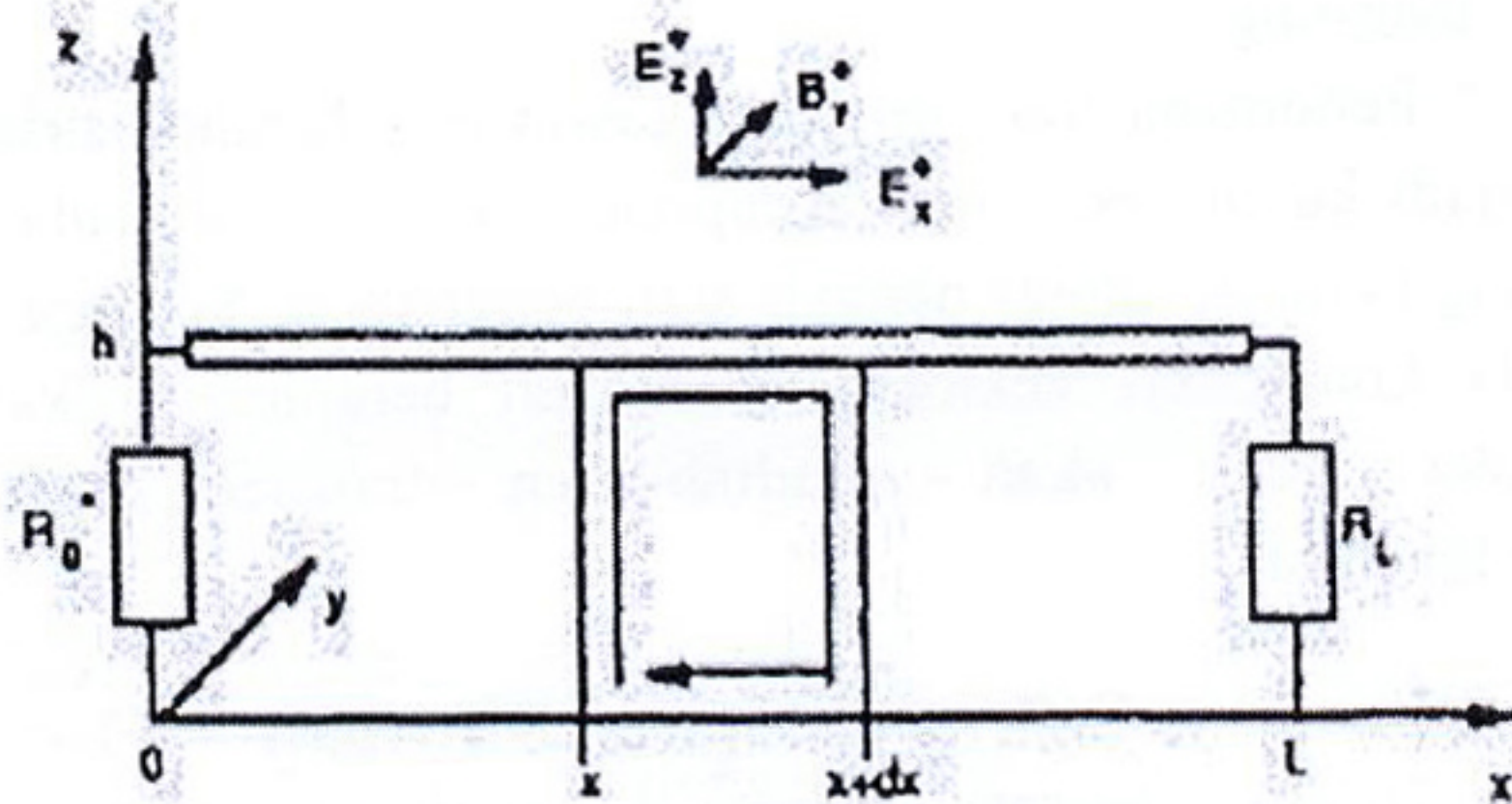
Pada sambaran petir tak langsung terhadap kawat saluran distribusi dengan ketinggian h meter dari permukaan tanah, sambaran terjadi di sekitar saluran distribusi sehingga timbul medan listrik yang searah dengan sumbu x seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Persamaan yang digunakan untuk menganalisa sambaran petir tak langsung adalah model Agrawal seperti berikut ini [9]:





Gambar 1. Representasi Kawat Distribusi [1]



Gambar 2. Pemodelan Saluran Distribusi [7]

$$\frac{\partial v^s(x,t)}{\partial x} + L' \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} = E_x^e(e,h,t) \quad (3)$$

$$\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} + C' \frac{\partial v^s(x,t)}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

dimana:

$E_x^e(e,h,t)$  adalah medan listrik arah horizontal sepanjang sumbu x pada konduktor dengan ketinggian h meter

$L'$  dan  $C'$  adalah induktansi dan kapasitansi per satuan panjang dari jalur listrik

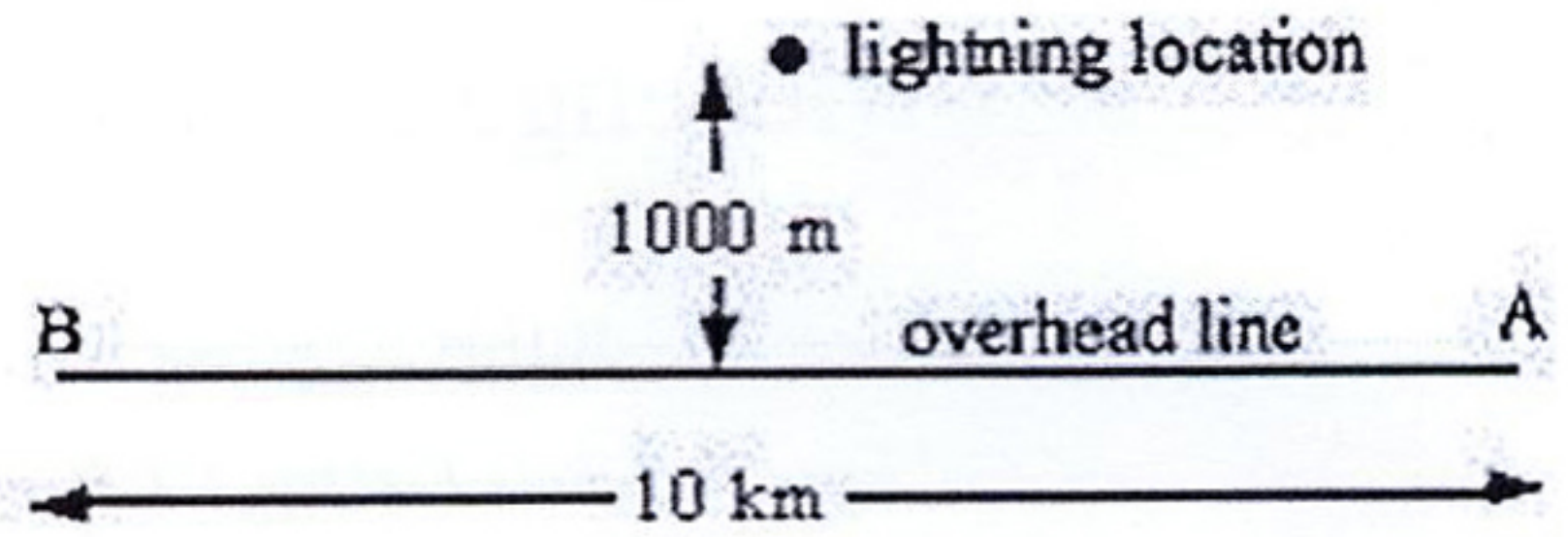
$i(x,t)$  adalah arus terinduksi

$v^s(x,t)$  atau *scattered voltage* adalah tegangan terinduksi pada kawat akibat medan  $E_x^e(e,h,t)$

### C. Tegangan Induksi

Berdasarkan persamaan yang didapatkan dari rumus Rusck yang disederhanakan (*Rusck simplified formula*), dapat dihitung tegangan induksi maksimal ( $V_{max}$ ) yang dapat terjadi. Rumus Rusck yang disederhanakan dengan asumsi kecepatan rambat mendekati kecepatan cahaya adalah sebagai berikut [4]:

$$V_{max} = Z_0 \frac{I_p \times h}{d} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{v}{v_0} \frac{1}{\sqrt{\left( 1 - 0.5 \times \left( \frac{v}{v_0} \right)^2 \right)}} \right) \quad (5)$$



Gambar 3. Lokasi Sambaran [2]

dengan:

$$Z_0 = 30 \, \Omega$$

$$I_p = \text{ arus sambaran}$$

$$h = \text{ ketinggian saluran distribusi diukur dari tanah}$$

$$d = \text{ jarak sambaran terhadap posisi kawat}$$

$$v = \text{ kecepatan sambaran}$$

$$v_0 = \text{ kecepatan cahaya}$$

Namun dengan menggunakan Rusck simplified formula, hanya besarnya tegangan induksi maksimum saja yang dapat diketahui. Untuk mengetahui respon tegangan terhadap saluran distribusi akibat sambaran petir tak langsung digunakan MATLAB.

### 3. DATA DAN ANALISA DATA

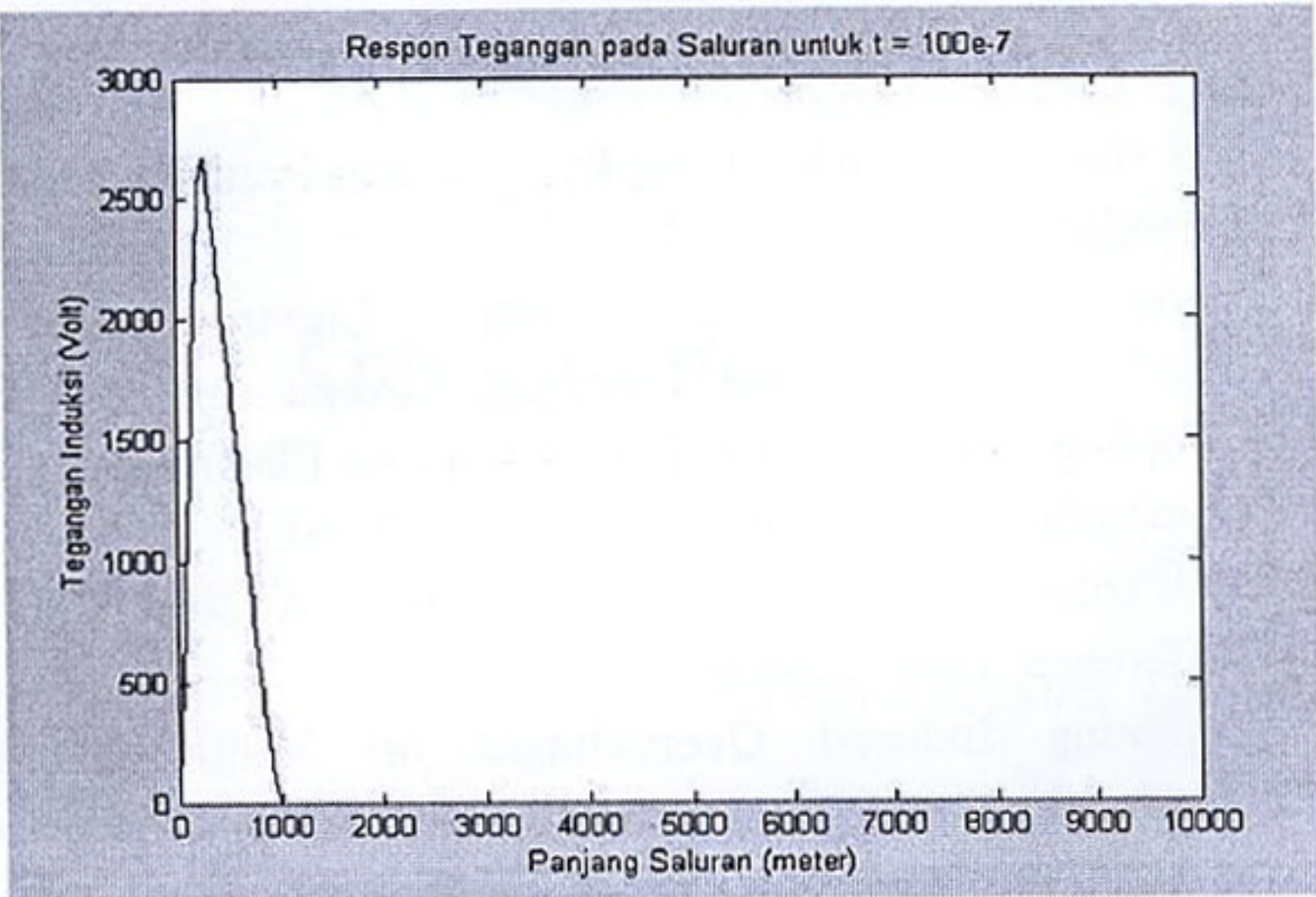
Untuk melakukan simulasi sambaran petir tak langsung pada SUTM 20 kV digunakan model suatu kawat saluran distribusi tunggal 20 kV, dengan ketinggian  $h = 10$  meter dan panjang 10 km. Saluran distribusi ini menggunakan kawat AAAC (*All Aluminium-Alloy Conductor*) dengan luas permukaan  $150 \, \text{mm}^2$  dan mempunyai nilai  $L = 1,69 \times 10^{-6} \, \text{H/m}$  &  $C = 7,79 \times 10^{-12} \, \text{F/m}$  yang terdistribusi sepanjang saluran [5]. Harga  $R$  dan  $G$  (hambatan dan konduktivitas) sepanjang saluran diabaikan untuk melihat perlambatan gelombang sepanjang saluran.

Dengan menggunakan acuan gelombang berjalan dengan polaritas positif, puncak 1000 kV, muka 3 mikrodetik, dan panjang 21 mikrodetik maka didapatkan nilai  $a = 0,041$  dan  $b = 1,15$  [10].

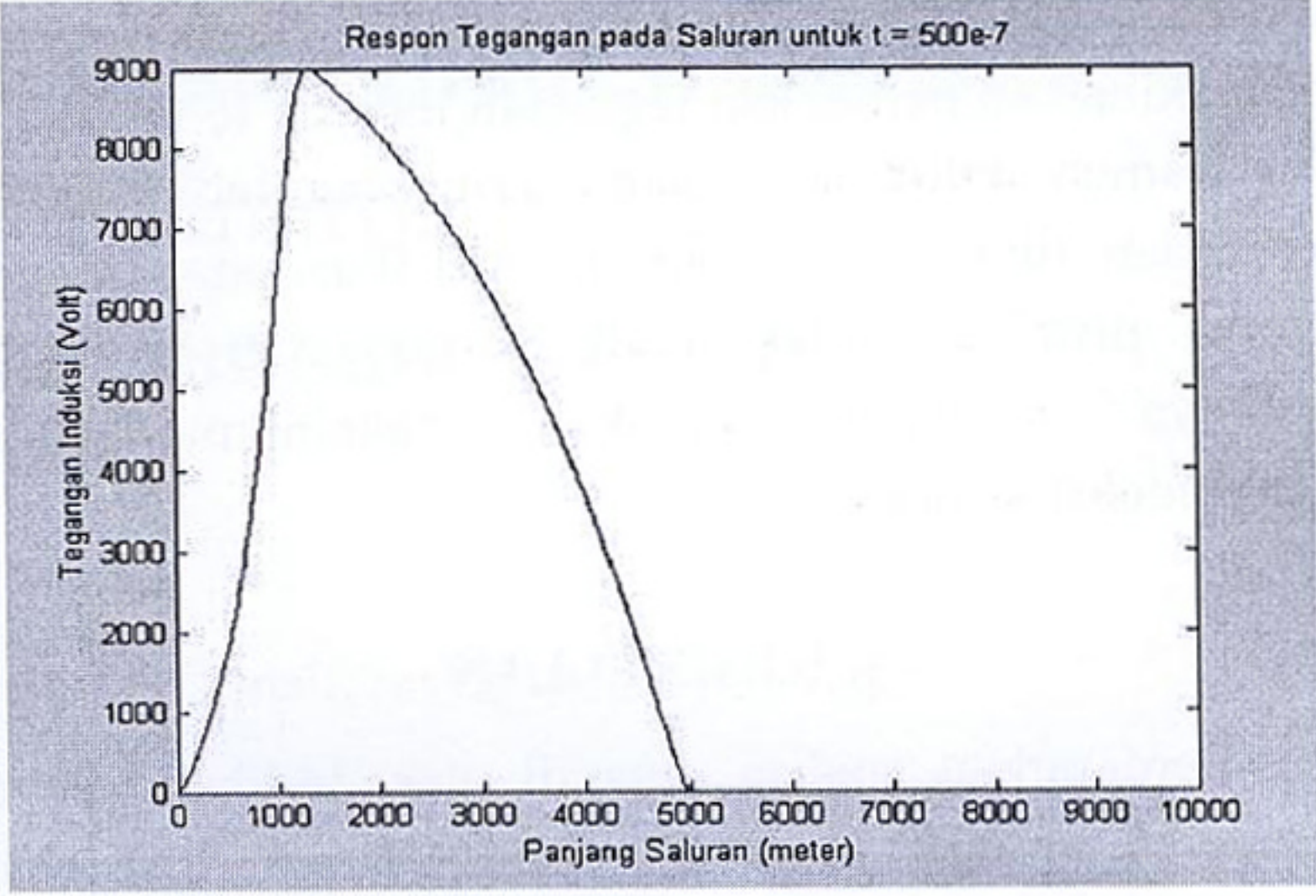
Sehingga dengan menggunakan *software* MATLAB, dapat disimulasikan respon tegangan pada saluran kawat distribusi untuk berbagai jarak sambaran terhadap saluran. Simulasi ini menghasilkan grafik perlambatan gelombang untuk berbagai waktu yang diperlihatkan pada Gambar 4 – 9.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa harga tegangan puncak semakin lama semakin besar. Namun persentase kenaikan harga tegangan puncak semakin kecil. Persentase yang semakin mengecil ini menunjukkan bahwa gelombang sambaran petir mengalami perlambatan.

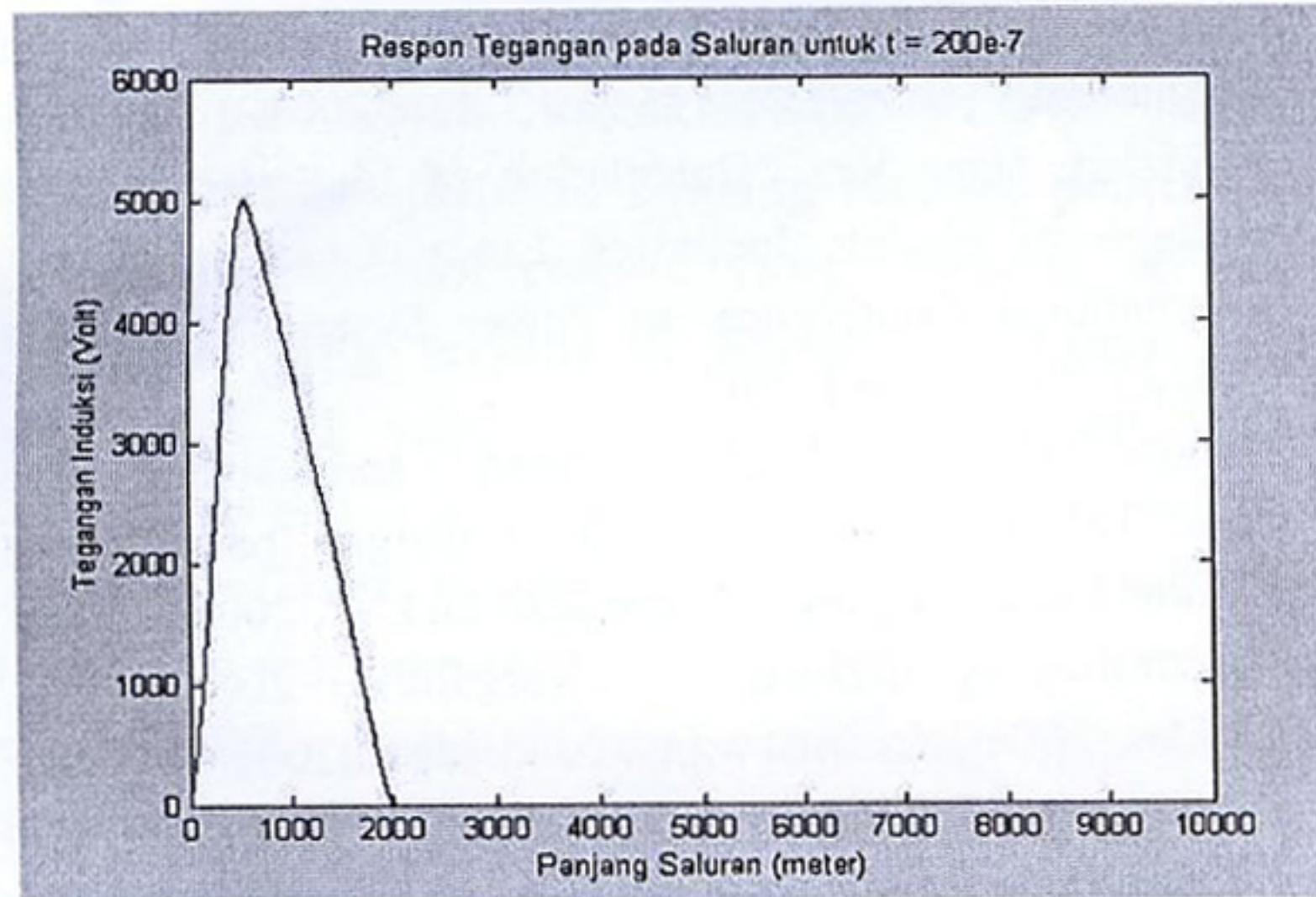




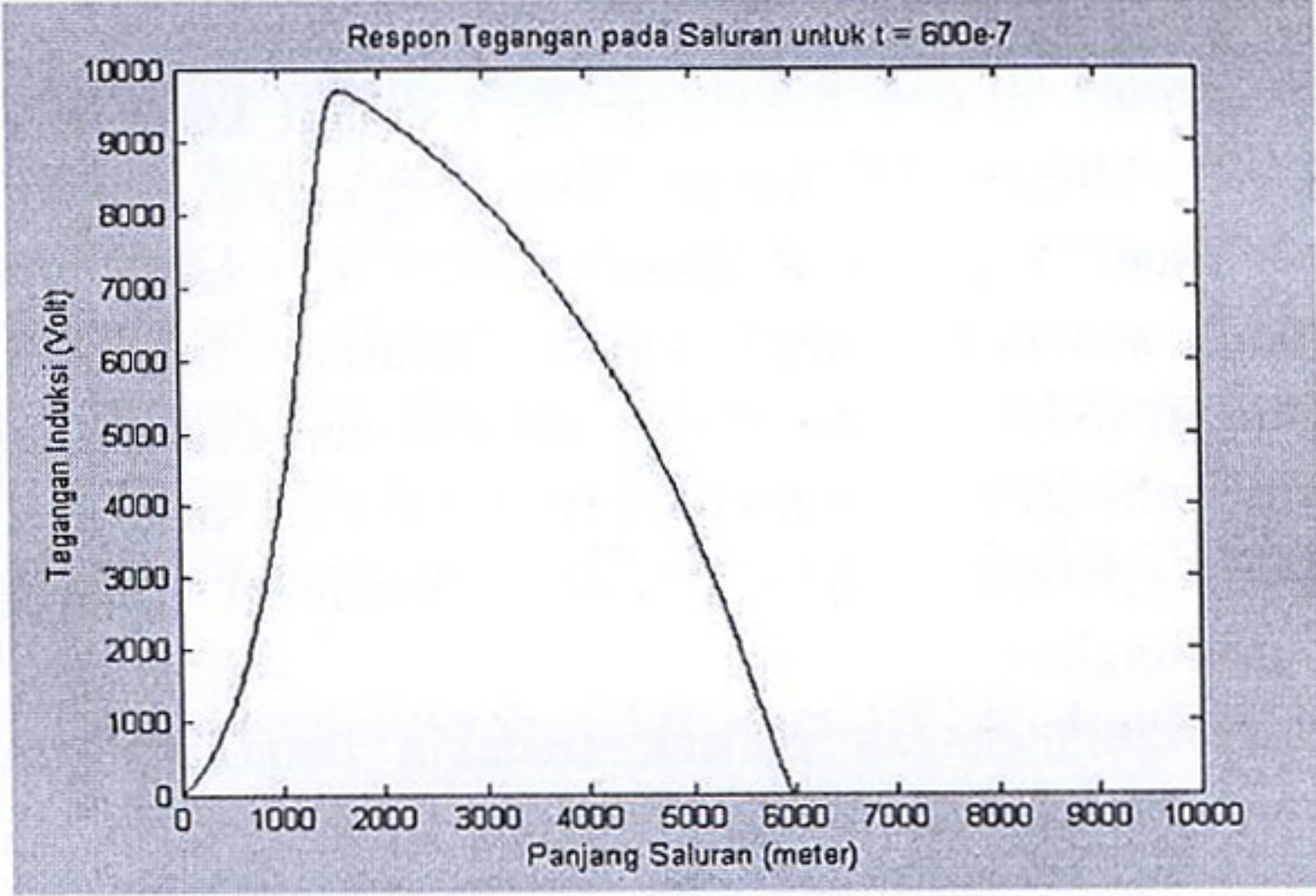
Gambar 4. Respon Tegangan pada Saluran untuk  $t = 100e-7$



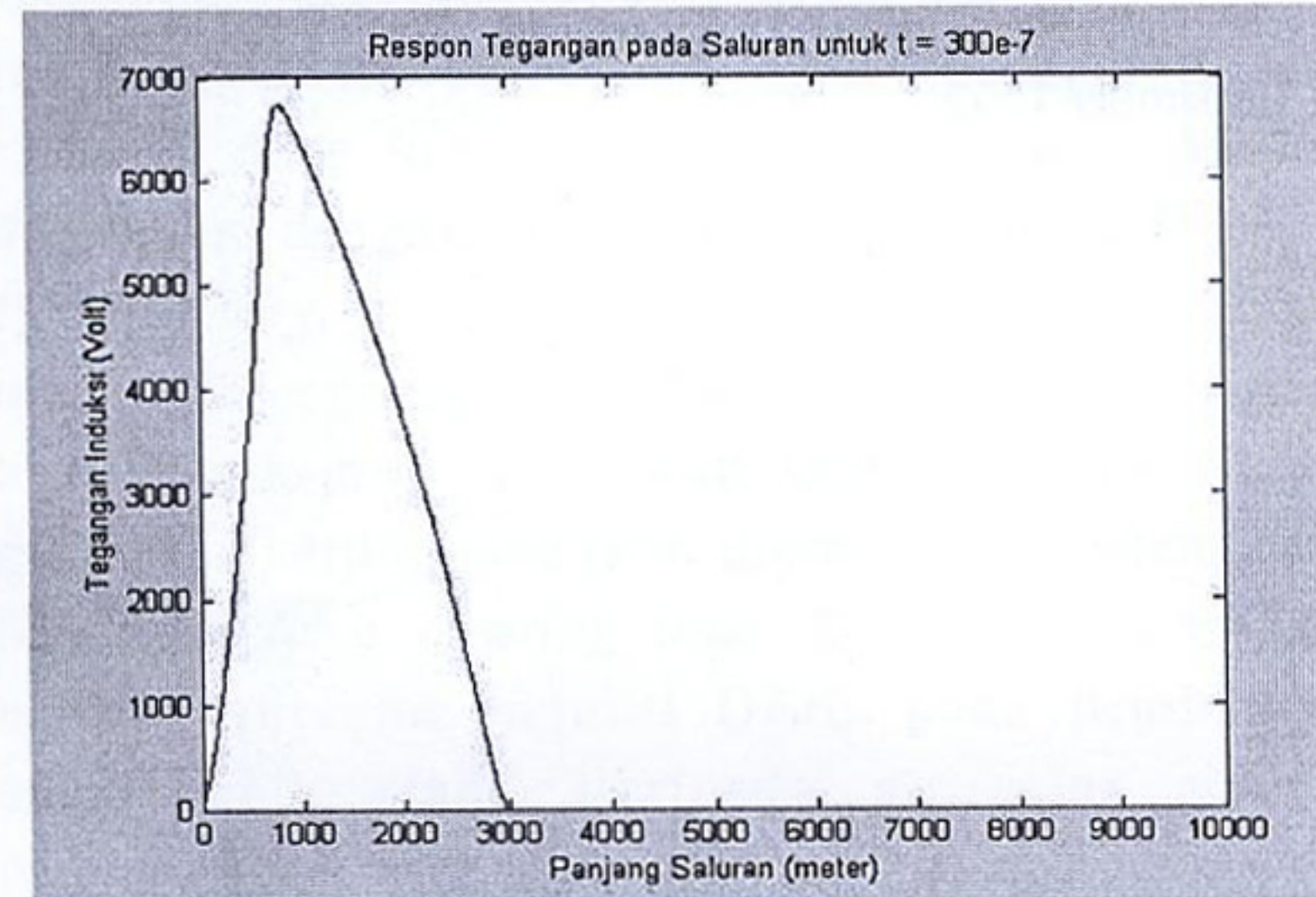
Gambar 8. Respon Tegangan pada Saluran untuk  $t = 500e-7$



Gambar 5. Respon Tegangan pada Saluran untuk  $t = 200e-7$



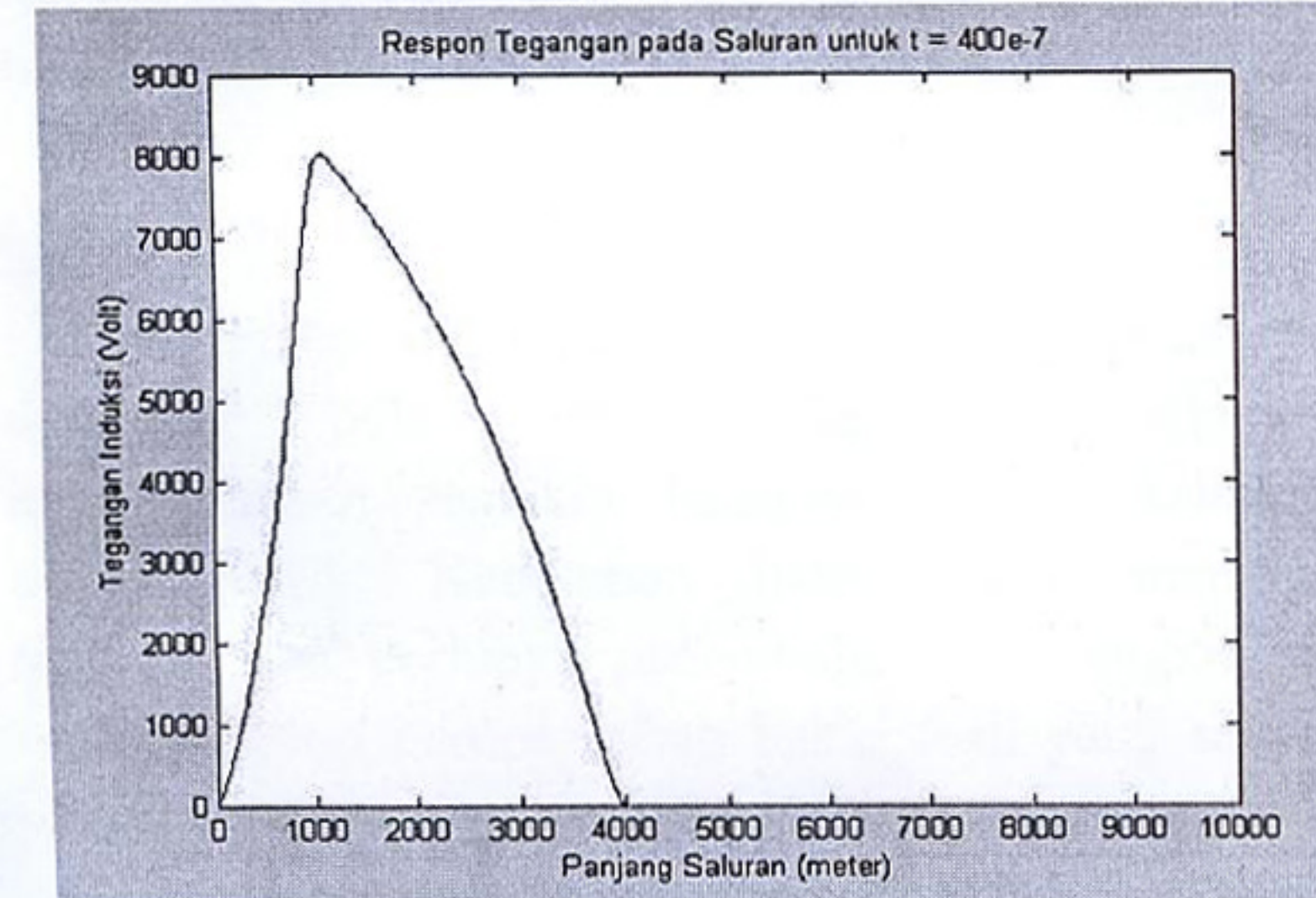
Gambar 9. Respon Tegangan pada Saluran untuk  $t = 600e-7$



Gambar 6. Respon Tegangan pada Saluran untuk  $t = 300e-7$

TABEL 1  
TEGANGAN PUNCAK

Waktu t (detik)	Tegangan Puncak (Volt)
1.00E-05	26,649,675
2.00E-05	50,059,146
3.00E-05	67,472,298
4.00E-05	80,395,556
5.00E-05	89,998,917
6.00E-05	97,113,995



Gambar 7. Respon Tegangan pada Saluran untuk  $t = 400e-7$

TABEL 2  
TEGANGAN INDUKSI MAKSIMUM

Jarak Sambaran (meter)	Tegangan Induksi Maksimum (kV)			
	d = 10 m	d = 10 m	d = 10 m	d = 10 m
1000	23,32	24,552	26,784	29,016
2000	11,16	12,276	13,392	14,508
3000	7,44	8,184	8,928	9,672
4000	5,58	6,138	6,696	7,254
5000	4,464	4,9104	5,3568	5,8032
6000	3,72	4,092	4,464	4,836

Dari Tabel 2 terlihat bahwa untuk jarak sambaran yang sama, tinggi tiang saluran distribusi atau kawat saluran distribusi sangat besar pengaruhnya terhadap tegangan induksi maksimum yang menginduksi



saluran. Perbedaan tinggi sebesar satu meter mengakibatkan perbedaan tegangan induksi lebih dari 2 kV. Namun untuk jarak sambaran yang lebih besar, perbedaan tinggi tiang saluran distribusi atau kawat saluran distribusi tidak terlalu berpengaruh terhadap besarnya tegangan induksi maksimum yang menginduksi saluran.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data di atas, terlihat bahwa besarnya tegangan induksi pada saluran distribusi bergantung pada besarnya arus sambaran dan jarak terjadinya sambaran. Semakin jauh jarak sambaran, tegangan induksi semakin kecil.

Untuk saluran distribusi 20 kV dan ketinggian saluran hingga 13 meter, nilai tegangan induksi maksimum  $V_{\max}$  dapat mencapai 29 kV lebih. Ini berarti semakin tinggi kawat saluran distribusi, tegangan induksi yang masuk saluran semakin tinggi juga. Sehingga ketinggian kawat saluran distribusi dalam perencanaan saluran distribusi harus diperhitungkan.

Harga tegangan puncak semakin lama semakin besar. Namun persentase kenaikan harga tegangan puncak semakin kecil. Persentase yang semakin mengecil ini menunjukkan bahwa gelombang sambaran petir mengalami perlambatan.

#### REFERENSI

- [1] T.S Hutaeruk, "Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja", Erlangga, Jakarta, 1991.
- [2] Vernon Corray, "Calculating Lightning-Induced Overvoltages in Power Lines: A Comparison of Two Coupling Models", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 36, No. 3, Agustus 1994.
- [3] M Paolone, C.A. Nucci, F. Rachidi, "A New Finite Difference Time Domain Scheme for the Evaluation of Lightning Induced Overvoltages on Multiconductor Overhead Lines." International Conference on Power System Transients, Vol. 29, No. 2, Mei 1992.
- [4] Alberto Borghetti, C.A. Nucci & M. Paolone. "Lightning Performance of Distribution Lines: Sensitivity to Computational Methods and to Data", IEEE Power Engineering Society, Vol. 15 No. 3, Juni 2001.
- [5] Hoidalen, Hans Kr., "Calculation of Lightning-Induced Voltage in Models Including Lossy Ground Effects", International Conference on Power Systems Transients Vol. 25, No. 3, April 2003.
- [6] Yanuar Ariyanto, "Analisa Pengaruh Induksi Sambaran Petir Tak Langsung Terhadap Tegangan pada Kawat Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV", 2004
- [7] "Produk yang Dihasilkan." Kabelindo. 2004, PTSL. 28 Des. 2004 <http://www.ptsi.co.id/adplist2001/company/kabelindo/produk.htm>.
- [8] N.Georgiadis, M. Rubinstein, M.A. Uman, P.J. Medelius dan Thomson. "Lightning-Induced Voltages at Both Ends of a 448-m Power-Distribution Line." IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. 34, No. 4, Nopember 1992.